

30.3.2004

日 本 国 特 許 庁

JAPAN PATENT OFFICE

Rec'd PCT/PTO 07 MAR 2005

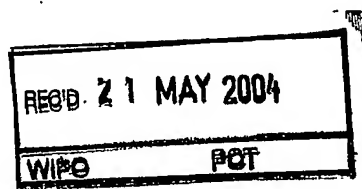
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 3 月 3 1 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 9 4 6 9 6
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 3 - 0 9 4 6 9 6]

出 願 人 日 本 電 信 電 話 株 式 有 限 公 司
Applicant(s):

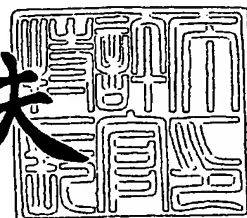


PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 4 月 3 0 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 NTTH147189

【提出日】 平成15年 3月31日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 5/12

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 布谷 伸浩

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 柴田 泰夫

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 藤原 直樹

【特許出願人】

【識別番号】 000004226

【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】

【識別番号】 100066980

【弁理士】

【氏名又は名称】 森 哲也

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 001638

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書
【発明の名称】 半導体レーザ
【特許請求の範囲】

【請求項 1】 波長選択性を有する利得領域と、
前記利得領域に光学的に結合され、実効的な屈折率の温度依存性が前記利得領域と異なる波長選択性を有しない伝搬領域と、
前記伝搬領域を伝播する光を反射させる反射領域とを備えることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 2】 波長選択性を有する利得領域と、
前記利得領域に光学的に結合され、実効的な屈折率の温度依存性が前記利得領域と異なる材料または構造の少なくとも一方を有し、利得および波長選択性を有しない伝搬領域と、
前記伝搬領域を伝播する光を反射させる利得を有しない反射領域とを備えることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 3】 前記反射領域は、ミラーもしくは周期構造を有する回折格子であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の半導体レーザ。

【請求項 4】 波長選択性を有する第 1 の利得領域と、
前記第 1 の利得領域に光学的に結合され、実効的な屈折率の温度依存性が前記利得領域と異なる材料または構造の少なくとも一方を有し、利得および波長選択性を有しない伝搬領域と、

前記伝搬領域に光学的に結合され、波長選択性を有する第 2 の利得領域とを備えることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 5】 前記構造は、層構造、層厚または導波路幅の少なくとも 1 つが異なることを特徴とする請求項 2 ～ 4 のいずれか 1 項記載の半導体レーザ。

【請求項 6】 前記利得領域の実効的な屈折率の温度微分係数と前記伝搬領域の実効的な屈折率の温度微分係数の差と、前記伝搬領域の長さの積の絶対値が $7.5 \times 10^{-4} [\mu\text{m}/\text{K}]$ 以上であることを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項記載の半導体レーザ。

【請求項 7】 前記伝搬領域は、半導体の実効的な屈折率の温度微分係数と

異なる材料により構成されていることを特徴とする請求項 1～6 のいずれか 1 項記載の半導体レーザ。

【請求項 8】 前記伝搬領域は、実効的な屈折率の温度微分係数が負である材料により構成されていることを特徴とする請求項 1～7 のいずれか 1 項記載の半導体レーザ。

【請求項 9】 前記利得領域は、複素屈折率の実部もしくは虚部またはその両方の周期的な摂動により形成される回折格子を備えていることを特徴とする請求項 1～8 のいずれか 1 項記載の半導体レーザ。

【請求項 10】 前記伝搬領域の長さは、前記利得領域の回折格子の実効長と前記伝搬領域との長さとの和で決定される縦モード間隔が、前記回折格子のストップバンド幅よりも広くなるように設定されていることを特徴とする請求項 9 記載の半導体レーザ。

【請求項 11】 前記利得領域の回折格子の結合係数が 300 cm^{-1} よりも大きいことを特徴とする請求項 9 または 10 記載の半導体レーザ。

【請求項 12】 前記利得領域、前記伝搬領域および前記反射領域は積層されていることを特徴とする請求項 1～11 のいずれか 1 項記載の半導体レーザ。

【請求項 13】 前記利得領域と前記伝搬領域とは、光路変換手段を介して結合されていることを特徴とする請求項 1～11 のいずれか 1 項記載の半導体レーザ。

【請求項 14】 前記伝搬領域は、上下もしくは左右の少なくともどちらか一方が光閉じ込め構造を有する導波路構造であることを特徴とする請求項 1～13 のいずれか 1 項記載の半導体レーザ。

【請求項 15】 半導体基板と、
前記半導体基板上に形成され、分布反射構造を有する活性層と、
前記活性層上に形成されたクラッド層と、
前記活性層および前記クラッド層の一部が除去された除去領域と、
前記除去領域内に埋め込まれ、実効的な屈折率の温度依存性が前記活性層と異なる温度補償層とを備えることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 16】 半導体基板と、

前記半導体基板上に積層された分布ブラッグ反射層と、
前記分布ブラッグ反射層上に積層され、分布反射構造を有する活性層と、
前記活性層上に積層され、実効的な屈折率の温度依存性が前記活性層と異なる温度補償層と、
前記温度補償層上に積層された反射層とを備えることを特徴とする半導体レーザー。

【請求項 17】 半導体基板と、
前記半導体基板上に形成され、分布反射構造を有する活性層と、
前記活性層上に形成され、前記活性層の端部に傾斜面が設けられたクラッド層と、
前記クラッド層上に形成され、実効的な屈折率の温度依存性が前記活性層と異なる温度補償層とを備えることを特徴とする半導体レーザー。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は半導体レーザーに関し、特に、半導体レーザーの発振波長の温度依存性の制御方法に適用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】

半導体レーザーの発振波長は、周囲温度および素子温度に依存して変化する。例えば、非特許文献 1 に示されているように、分布帰還型 (DFB) レーザーの発振波長の温度依存性は 0.1 nm/K 程度である。これは、半導体の屈折率 (n) が温度依存性を持ち、これにより回折格子のブラッグ波長 (λ_B) が、

$$m \lambda_B = 2 n \Lambda \quad \dots (1)$$

に従って変化するためである。ここで、 m は回折の次数、 Λ は回折格子の周期である。

【0003】

例えば、光ファイバ通信の光源として半導体レーザーを用いる場合、特にいくつかの異波長光の信号を 1 本のファイバに多重化して伝送する波長多重通信 (WD

M) を行う場合など、信号光波長の精度が重要である場合には、発光源である半導体レーザの発振波長を安定化することが必要不可欠である。このため、例えば、ペルチェ素子を用いて半導体レーザの温度制御を行うことにより、半導体レーザの発振波長を安定化することが行われている。

【0004】

また、ペルチェ素子などによる温度制御を用いずに発振波長の温度依存性を安定させる方法としては、大きく分類して2つの方法が考えられる。すなわち、1番目の方法は、例えば、非特許文献2に示されるように、従来に比べて屈折率の温度依存性の小さい半導体材料を用いることで、半導体のみの構成により温度依存性を低減する方法である。また、2番目の方法は、例えば、非特許文献3に示されるように、半導体レーザと半導体以外の材料よりなる外部導波路を組み合わせたレーザや、特許文献4に示されるように、半導体と半導体とは逆の屈折率温度依存性を有する半導体以外の材料を交互に縦列接続した構成など、半導体と半導体以外の材料による複合構成により温度依存性を低減する方法である。

【0005】

【非特許文献1】

K. sakai, "1.5 μ m range InGaAsP/InP distributed feedback lasers, "IEEE J. Quantum Electron., vol. QW-18, pp. 1272-1278, Aug. 1982

【非特許文献2】

H. Asahi et al, Jpn. J. Appl. phys., vol. 35, pp. L875-, 1996.

【非特許文献3】

"Hybrid integrated extennal Cavity laser without temperature dependent mode hopping, "T. Tanaka et al, Electron. Lett., vol. 35, no. 2, pp. 149-150, 1999.

【特許文献1】

特開 2002-14247 号公報

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、バルチェ素子を用いて半導体レーザの温度制御を行う方法では素子構造や制御が複雑化するとともに、消費電力が増加するという問題があった。

一方、屈折率の温度依存性の小さい半導体材料を用いることで、半導体のみの構成により温度依存性を低減する方法では、これまでに実用化された新材料の報告は無く、新しい半導体を開発することは、結晶成長や素子形成上、非常に困難であるという問題があった。

【0007】

また、半導体と半導体以外の材料と組み合わせる方法では、光軸調整が必要ないなど出来るだけ簡便に組み合わせることが望ましい。また、半導体基板上に有機材料をスピコートするなど簡便な作成法であったとしても、例えば、半導体と有機材料を交互に縦列接続して分布反射器を構成するような場合は、優れた特性の得られる 1 次の回折格子を作製するためには、半導体と有機材料を $1/4$ 波長程度の長さで交互に並べる必要があり、加工の難易度および信頼性に大きな問題があった。

そこで、本発明の目的は、簡単な構成により発振波長の温度依存性を制御することが可能な半導体レーザを提供することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】

上述した課題を解決するために、請求項 1 記載の半導体レーザによれば、波長選択性を有する利得領域と、前記利得領域に光学的に結合され、実効的な屈折率の温度依存性が前記利得領域と異なる波長選択性を有しない伝搬領域と、前記伝搬領域を伝播する光を反射させる反射領域とを備えることを特徴とする。

【0009】

これにより、波長選択性を有する利得領域に波長選択性を有しない伝搬領域を結合することで、発振波長の温度依存性を制御することが可能となる。このため

、発振波長の温度依存性を有する材料を利得媒質として用いた場合においても、半導体と半導体以外の材料とを複雑に組み合わせることなく、半導体レーザの発振波長の温度依存性を所望の値に制御することが可能となり、簡単な構成および容易な加工方法を用いることにより、半導体レーザの発振波長を安定化することが可能となる。

【0010】

また、請求項2記載の半導体レーザによれば、波長選択性を有する利得領域と、前記利得領域に光学的に結合され、実効的な屈折率の温度依存性が前記利得領域と異なる材料または構造の少なくとも一方を有し、利得および波長選択性を有しない伝搬領域と、前記伝搬領域を伝播する光を反射させる利得を有しない反射領域とを備えることを特徴とする。

【0011】

これにより、有機材料などの入手可能な材料を用いることで伝搬領域を構成することが可能となり、新材料を用いることなく、簡単な構成および容易な加工方法を用いることで、発振波長の温度依存性を制御することが可能となる。

また、請求項3記載の半導体レーザによれば、前記反射領域は、ミラーもしくは周期構造を有する回折格子であることを特徴とする。

【0012】

これにより、製造工程の煩雑化を抑制しつつ、反射領域を容易に形成することが可能となる。

また、請求項4記載の半導体レーザによれば、波長選択性を有する第1の利得領域と、前記第1の利得領域に光学的に結合され、実効的な屈折率の温度依存性が前記利得領域と異なる材料または構造の少なくとも一方を有し、利得および波長選択性を有しない伝搬領域と、前記伝搬領域に光学的に結合され、波長選択性を有する第2の利得領域とを備えることを特徴とする。

【0013】

これにより、有機材料などの入手可能な材料を用いることで伝搬領域を構成することが可能となるとともに、ミラーを反射領域として用いる必要がなくなる。このため、半導体レーザのモノリシック集積化を容易に図ることが可能となると

ともに、新材料を用いることなく、簡単な構成および容易な加工方法を用いることにより、発振波長の温度依存性を制御することが可能となる。

【0014】

また、請求項5記載の半導体レーザによれば、前記構造は、層構造、層厚または導波路幅の少なくとも1つが異なることを特徴とする。

これにより、光の導波方向に沿って光のフィールド分布を変化させることが可能となり、同一の材料を用いて半導体レーザを構成した場合においても、半導体レーザの発振波長の温度依存性を制御することが可能となる。

【0015】

また、請求項6記載の半導体レーザによれば、前記利得領域の実効的な屈折率の温度微分係数と前記伝搬領域の実効的な屈折率の温度微分係数の差と、前記伝搬領域の長さの積の絶対値が $7.5 \times 10^{-4} [\mu\text{m}/\text{K}]$ 以上であることを特徴とする。

これにより、発振波長の温度依存性を所定値以上だけ変化させることが可能となり、利得媒質の発振波長の温度依存性が大きい場合においても、簡単な構成および容易な加工方法を用いることで、半導体レーザの発振波長を安定化することが可能となる。

【0016】

また、請求項7記載の半導体レーザによれば、前記伝搬領域は、半導体の実効的な屈折率の温度微分係数と異なる材料により構成されていることを特徴とする。

これにより、半導体以外の材料で伝搬領域を構成することが可能となり、簡単な構成および容易な加工方法を用いることで、発振波長の温度依存性を制御することが可能となる。

【0017】

また、請求項8記載の半導体レーザによれば、前記伝搬領域は、実効的な屈折率の温度微分係数が負である材料により構成されていることを特徴とする。

これにより、新材料を用いることなく、利得媒質の発振波長の温度依存性を補償することが可能となり、簡単な構成および容易な加工方法を用いることで、半

導体レーザの発振波長を安定化することが可能となる。

【0018】

また、請求項9記載の半導体レーザによれば、前記利得領域は、複素屈折率の実部もしくは虚部またはその両方の周期的な摂動により形成される回折格子を備えていることを特徴とする。

これにより、簡易な加工を施すことで、利得領域に波長選択性を持たせることが可能となり、簡単な構成および容易な加工方法を用いることで、発振波長の温度依存性を制御することが可能となる。

【0019】

また、請求項10記載の半導体レーザによれば、前記伝搬領域の長さは、前記利得領域の回折格子の実効長と前記伝搬領域との長さとの和で決定される縦モード間隔が、前記回折格子のストップバンド幅よりも広くなるように設定されていることを特徴とする。

これにより、1個の縦モードのみをストップバンド幅内に存在させることが可能となり、他の縦モードの利得を抑圧することを可能として、単一モード動作の安定化を図ることが可能となる。

【0020】

また、請求項11記載の半導体レーザによれば、前記利得領域の回折格子の結合係数が 300 cm^{-1} よりも大きいことを特徴とする。

これにより、簡単な構成および容易な加工方法を用いることで、ストップバンド幅を拡大し、補償する温度範囲を拡大することが可能となる。

また、請求項12記載の半導体レーザによれば、前記利得領域、前記伝搬領域および前記反射領域は積層されていることを特徴とする。

【0021】

これにより、簡単な構成および容易な加工方法を用いることで、発振波長の温度依存性を制御することを可能としつつ、半導体レーザの集積化を図ることが可能となる。

また、請求項13記載の半導体レーザによれば、前記利得領域と前記伝搬領域とは、光路変換手段を介して結合されていることを特徴とする。

【0022】

これにより、利得領域の導波光の方向と伝搬領域の導波光の方向とを異ならせることが可能となり、利得領域および伝搬領域の配置の自由度を向上させることが可能となる。

また、請求項14記載の半導体レーザによれば、前記伝搬領域は、上下もしくは左右の少なくともどちらか一方が光閉じ込め構造を有する導波路構造であることを特徴とする。

【0023】

これにより、伝搬領域の導波光の方向を容易に制御することが可能となり、半導体レーザの集積化を容易に行うことが可能となる。

また、請求項15記載の半導体レーザによれば、半導体基板と、前記半導体基板上に形成され、分布反射構造を有する活性層と、前記活性層上に形成されたクラッド層と、前記活性層および前記クラッド層の一部が除去された除去領域と、前記除去領域内に埋め込まれ、実効的な屈折率の温度依存性が前記活性層と異なる温度補償層とを備えることを特徴とする。

【0024】

これにより、活性層およびクラッド層の一部を除去した後に、温度補償層を充填することで、波長選択性を有する利得領域に波長選択性を有しない伝搬領域を容易に結合することが可能となり、簡単な構成および容易な加工方法を用いることで、発振波長の温度依存性を制御することが可能となる。

また、請求項16記載の半導体レーザによれば、半導体基板と、前記半導体基板上に積層された分布ブラッグ反射層と、前記分布ブラッグ反射層上に積層され、分布反射構造を有する活性層と、前記活性層上に積層され、実効的な屈折率の温度依存性が前記活性層と異なる温度補償層と、前記温度補償層上に積層された反射層とを備えることを特徴とする。

【0025】

これにより、分布ブラッグ反射層、活性層、温度補償層および反射層を半導体基板上に順次積層することで、波長選択性を有する利得領域に波長選択性を有しない伝搬領域を容易に結合することが可能となり、簡単な構成および容易な加工

方法を用いることで、発振波長の温度依存性を制御することが可能となる。

また、請求項 17 記載の半導体レーザによれば、半導体基板と、前記半導体基板上に形成され、分布反射構造を有する活性層と、前記活性層上に形成され、前記活性層の端部に傾斜面が設けられたクラッド層と、前記クラッド層上に形成され、実効的な屈折率の温度依存性が前記活性層と異なる温度補償層とを備えることを特徴とする。

【0026】

これにより、傾斜面が設けられたクラッド層上に温度補償層を設けることで、波長選択性を有する利得領域に波長選択性を有しない伝搬領域を容易に結合することが可能となり、簡単な構成および容易な加工方法を用いることにより、発振波長の温度依存性を制御することが可能となる。

【0027】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態に係る半導体レーザについて図面を参照しながら説明する。

図 1 は、本発明の第 1 実施形態に係る半導体レーザの構成を光導波方向に沿って示す断面図である。なお、第 1 実施形態は、波長選択性を持った第 1 の利得領域 R1 と波長選択性を持った第 2 の利得領域 R2 との間に、利得を有しない伝搬領域 R3 を設けることにより、発振波長の温度依存性を制御するようにしたものである。

【0028】

図 1 において、半導体基板 101 上には、波長選択性を持った第 1 の利得領域 R1、利得を有しない伝搬領域 R3 および波長選択性を持った第 2 の利得領域 R2 が設けられている。ここで、利得領域 R1 には、半導体基板 101 上に形成された活性層 102 が設けられている。そして、活性層 102 上には、クラッド層 110 を介して第 1 の利得領域用電極 105 が形成されている。

【0029】

また、利得領域 R2 には、半導体基板 101 上に形成された活性層 104 が設けられている。そして、活性層 104 上には、クラッド層 110 を介して第 2 の

利得領域用電極 106 が形成されている。

なお、半導体基板 101 およびクラッド層 110 としては、例えば、InP、活性層 102、104 としては、例えば、発光波長 $1.55\mu\text{m}$ の GaInAsP を用いることができる。ここで、半導体基板 101 上に形成された活性層 102 は波長選択性を持った第 1 の利得を有し、活性層 104 は波長選択性を持った第 2 の利得を有している。そして、活性層 102、104 には、複素屈折率の周期的な摂動、すなわち回折格子がそれぞれ形成され、活性層 102、104 は分布反射構造となっている。

【0030】

さらに、伝搬領域 R3 には、半導体基板 101 上の活性層 102、104 およびクラッド層 110 の一部を除去することで形成された除去領域 111 が設けられ、除去領域 111 には温度補償材料 103 が充填されている。

ここで、温度補償材料 103 としては、例えば、半導体とは逆の屈折率の温度依存性を持つ有機材料を用いることができ、このような有機材料として、例えば、BCB (Benzocyclobutene) を挙げることができる。また、温度補償材料 103 として、有機材料の多層膜を用いることで導波損失を低減することができる。

【0031】

なお、利得を有しない伝搬領域 R3 を半導体基板 101 上に形成する場合、反応性イオンエッチングなどの異方性エッチングを用いて利得領域 R1、R2 の間に所望の幅の溝を形成し、スパインコーティングなどの方法により有機材料を溝部に充填することができる。

また、共振器両側の端面には、第 1 の利得領域側反射防止膜 108 および第 2 の利得領域側反射防止膜 109 がそれぞれ形成され、半導体基板 101 の裏面には、裏面電極 107 が形成されている。

【0032】

ここで、第 1 の利得領域 R1、第 2 の導波領域 R2 および伝搬領域 R3 の長さは、第 1 の利得領域 R1 もしくは第 2 の導波領域 R2 のみで発振しないように設定することができる。

そして、波長選択性を持った第1の利得領域R1で発光もしくは反射された光が、利得を有しない伝搬領域R3を通り、波長選択性を持った第2の利得領域R2により反射され、利得を有しない伝搬領域R3を再度通り、波長選択性を持った第1の利得領域R1に戻ることににより、帰還を生じさせつつ、レーザ発振を起こさせることができる。

【0033】

このため、第1の利得領域R1、第2の導波領域R2および伝搬領域R3をレーザ発振に係わらせることが可能となり、第1の利得領域R1および第2の導波領域R2での温度変化による発振波長の変動を、伝搬領域R3での温度変化による位相の変動で補償することが可能となる。

このため、BCBなどの有機材料を用いることで、半導体レーザの発振波長の温度依存性を制御することが可能となり、新材料を用いることなく、簡単な構成および容易な加工方法を用いることにより、半導体レーザの発振波長の安定化を図ることが可能となる。

【0034】

なお、利得を有しない伝搬領域R3の長さは、活性層102、104に設けられた回折格子の実効長と利得を有しない伝搬領域R3の長さの和により決定される縦モード間隔が、回折格子のストップバンド幅よりも広くなるように設定することができる。これにより、1個の縦モードのみを回折格子のストップバンド幅内に存在させることが可能となり、他の縦モードの利得を抑圧することを可能として、単一モード動作の安定性を高めることができる。

【0035】

以下、本実施形態の発振原理および発振波長について詳細に説明する。

波長選択性を持った第1の利得領域R1と波長選択性を持った第2の利得領域R2は、波長選択性と光学利得を併せ持つため、回折格子によって決定される波長の光のみを反射し、増幅することができる。ここで、反射が最も大きくなる波長帯域は、回折格子のブラッグ波長を中心としたストップバンド幅で決定することができる。例えば、回折格子の結合係数Kを 300 cm^{-1} とし、長さを $50\text{ }\mu\text{ m}$ に設定することにより、ストップバンド幅として約 10 nm を得ることができ

る。また、利得を有しない伝搬領域 103 の長さは、例えば、約 $10\ \mu\text{m}$ に設定することができる。

【0036】

図 2 は、本発明の一実施形態に係る半導体レーザの反射スペクトルおよび反射波の位相特性を示す図であり、第 1 の利得領域 R 1 および第 2 の利得領域 R 2 の回折格子の反射スペクトルと反射波の位相遅れを示す。

図 2 において、利得を有しない伝搬領域 R 3 がない、もしくは、伝搬領域 R 3 を光が通過する際の位相遅れがない場合、第 1 の利得領域 R 1 および第 2 の利得領域 R 2 の回折格子での位相遅れの和が 0 か 2π の整数倍、すなわち、第 1 の利得領域 R 1 または第 2 の利得領域 R 2 の一方のみで考えると、位相遅れが 0 か π であるとき、その波長は共振モードとなる。

【0037】

次に、利得を有しない伝搬領域 R 3 が存在すると、光が第 1 の利得領域 R 1 を出てから、第 2 の利得領域 R 2 に入るまでに位相が変わる。このため、伝搬領域 R 3 における位相変化に応じて、第 1 の利得領域 R 1、第 2 の利得領域 R 2 および伝搬領域 R 3 からなる共振器全体での位相遅れが 0 または 2π となるように、共振モードはストップバンドの間で変化する。

【0038】

ここで、InP や GaAs などの通常の半導体レーザに現在使われている半導体材料では、周囲温度が上昇すると屈折率も上昇するため、回折格子のブラッグ波長は、式 (1) に従って長波長側に移動する。この結果、図 2 の反射スペクトルも全体的に長波長側にシフトする。

一方、温度補償材料 103 が、例えば、半導体とは逆の屈折率の温度依存性を持つ材料である場合、温度上昇に伴い、温度補償材料 103 の屈折率が減少し、利得を有しない伝搬領域 R 3 の光学長が減少する。このため、利得を有しない伝搬領域 R 3 を通過した光の位相が変化し、温度上昇に伴って、発振波長がストップバンド内を長波長側から中央部、そして短波長側へと移動する。

【0039】

このため、第 1 の利得領域 R 1 および第 2 の導波領域 R 2 での温度変化による

ブラッグ波長の変動を、伝搬領域 R 3 での温度変化による位相の変動で補償することが可能となり、半導体レーザの発振波長の温度依存性を制御することができる。

図 3 は、本発明の一実施形態に係る半導体レーザの発振波長の温度依存性の補償原理を説明する図である。

【0040】

図 3 において、温度が上昇すると、回折格子のブラッグ波長 λ_B は長波長側にシフトするが、発振波長は温度変化があっても変化しないことがわかる。なお、ストップバンド幅 S_B が広いほど、広い温度範囲において補償が可能である。例えば、図 1 の例では、回折格子の結合係数を 300 cm^{-1} としたが、さらに、大きな結合係数とすることで、ストップバンドの幅を拡大し、補償する温度範囲を拡大することが可能である。

【0041】

なお、上述した実施形態では、波長選択性も利得も有しない伝搬領域 R 3 に、半導体とは逆の屈折率の温度依存性を持つ温度補償材料 103 を用いる方法について説明したが、伝搬領域 R 3 の材料を換えることで、任意の温度依存性を持つ半導体レーザを作製することが可能である。また、利得を有しない伝搬領域 R 3 は、発光する必要がないため、必ずしも良好な結晶性を有する必要はない。このため、有機材料やその他の半導体以外の材料を用いることができ、材料の選択性を広げることができる。また、例えば、回折格子部分の半導体よりも大きな屈折率の温度依存性を持つ材料を用いて、利得を有しない伝搬領域を構成するようにしてもよく、これにより、温度依存性の大きな半導体レーザを形成することができ、温度センサなどとして用いることができる。また、半導体のように温度上昇により屈折率が上昇する材料であっても、回折格子部分の半導体よりも小さな屈折率の温度依存性を持つ材料とすることにより、発振波長の温度依存性を低減することができる。

【0042】

図 4 は、本発明の一実施形態に係る半導体レーザの屈折率の温度係数差と発振波長温度依存性を説明する図である。なお、図 4 では、横軸は、波長選択性を有

する利得領域と波長選択性も利得も有しない伝搬領域の屈折率温度係数の差と、波長選択性も利得も有しない伝搬領域の長さの積、縦軸は、発振波長の温度依存性の変化を示す。また、ここでは、半導体のみの構成で、図1と同じ各領域の長さ、回折格子の結合係数などを用いた場合の例を示した。

【0043】

図4において、DFBレーザの場合、発振波長の温度依存性は $1\text{ \AA}/\text{K}$ 程度である。このため、発振波長をその10%程度変化させる場合、利得領域R1、R2の実効的な屈折率の温度微分係数と伝搬領域R3の実効的な屈折率の温度微分係数の差と、伝搬領域R3の長さの積を、A点（減少）もしくはA'点（増加）にすればよく、その値は、 $\pm 7.5 \times 10^{-4} [\mu\text{m}/\text{K}]$ である。また、発振波長を20%程度変化させる場合、利得領域R1、R2の実効的な屈折率の温度微分係数と伝搬領域R3の実効的な屈折率の温度微分係数の差と、伝搬領域R3の長さの積を、 $\pm 14.5 \times 10^{-4} [\mu\text{m}/\text{K}]$ 程度とすれば良いことがわかる。例えば、伝搬領域R3の長さが $10\mu\text{m}$ のとき、それぞれ $\pm 7.5 \times 10^{-4} [1/\text{K}]$ 、 $\pm 1.45 \times 10^{-4} [1/\text{K}]$ となる。

【0044】

なお、図1の活性層102、104の構造に関しては、特に制約を設けるものではなく、通常用いられるすべての構造の活性層について本発明を適用することにより、半導体レーザの発振波長の温度依存性を制御することが可能となる。すなわち、活性層102、104に関しては、InGaAsP、GaAs、AlGaAs、InGaAs、GaInNAsなど任意の材質について適用が可能であり、活性層102、104の構造に関しても、バルク、MQW（多重量子井戸）、量子細線、量子ドットを問わず、また活性層領域の導波路構造に関しても、pn埋め込み、リッジ構造、半絶縁埋め込み構造、ハイメサ構造等を用いるようにしてもよい。半導体基板101に関しても、n型基板に限定されるものではなく、p型基板、半絶縁型基板等を用いるようにしてもよい。

【0045】

また、周期的摂動は活性層102、104上に直に形成しなくとも、活性層を導波する光の電界が零でない有限な値を有する領域に形成されていれば、同様な

効果が期待できる。例えば、通常の半導体レーザで用いられている分離閉じ込め構造（SCH構造）のSCH層上に形成されていても良く、また、活性層と接していない領域にクラッド層よりも屈折率が高い層を積層し、そこに周期的摂動を形成してもよい。

【0046】

さらに、利得を有しない伝搬領域の上下もしくは左右の少なくともどちらか一方が光閉じ込め構造を有する導波路構造とすることにより、伝搬損失を低減することができ、半導体レーザの特性を向上させることが可能となる。

また、本発明の構造を基板の厚さ方向に形成し、面発光レーザ型としても同様な効果が期待できる。さらに、第1の利得領域R1、伝搬領域R3および第2の利得領域R2が光軸に沿って並んでいれば、エッチングなどにより作製した反射鏡を介して、第1の利得領域R1、伝搬領域R3および第2の利得領域R2を配置してもよく、導波路途中で層方向もしくは横方向に光軸が曲げられるようにしてもよい。

【0047】

図5は、本発明の第2実施形態に係る半導体レーザの構成を光導波方向に沿って示す断面図である。なお、第2実施形態は、波長選択性を持った利得領域R11と利得を有しない反射領域R12との間に、利得を有しない伝搬領域R13を設けることにより、発振波長の温度依存性を制御するようにしたものである。

図5において、半導体基板201上には、波長選択性を持った利得領域R11、利得を有しない伝搬領域R13および波長選択性を持った利得を有しない反射領域R12が設けられている。ここで、利得領域R11には、半導体基板201上に形成され、波長選択性を持った利得を有する活性層202が設けられている。そして、活性層202には、複素屈折率の周期的な摂動、すなわち回折格子が形成され、活性層202は、分布反射構造となっている。そして、活性層202上には、クラッド層210を介して電極205が形成されている。

【0048】

また、反射領域R12には、半導体基板201上に形成され、波長選択性を持った利得を有しない半導体層204が設けられている。ここで、半導体層204

には、複素屈折率の周期的な摂動、すなわち回折格子が形成され、半導体層 204 は、分布反射構造となっている。そして、半導体層 204 上には、クラッド層 210 が形成されている。なお、半導体基板 201 およびクラッド層 210 としては、例えば、InP、活性層 102 としては、例えば、発光波長 $1.55\mu\text{m}$ の GaInAsP、半導体層 204 としては、例えば、発光波長 $1.2\mu\text{m}$ の GaInAsP を用いることができる。また、半導体層 204 は、選択成長などにより活性層 202 とは異なる組成の材料を成長させた後に、周期構造を有する回折格子を作成することにより形成できる。

【0049】

さらに、伝搬領域 R13 には、半導体基板 201 上の活性層 202、半導体層 204 およびクラッド層 210 の一部を除去することで形成された除去領域 211 が設けられ、除去領域 211 には温度補償材料 203 が充填されている。

ここで、温度補償材料 203 としては、例えば、半導体とは逆の屈折率の温度依存性を持つ有機材料を用いることができ、このような有機材料として、例えば、BCB を挙げることができる。また、温度補償材料 203 として、有機材料の多層膜を用いることで導波損失を低減することができる。

【0050】

なお、利得を有しない伝搬領域 R13 を半導体基板 201 上に形成する場合、反応性イオンエッチングなどの異方性エッチングを用いて利得領域 R11、R12 の間に所望の幅の溝を形成し、スピンのコーティングなどの方法により有機材料を溝部に充填することができる。

また、共振器両側の端面には、利得領域側反射防止膜 208 および反射領域側反射防止膜 209 が形成され、半導体基板 201 の裏面には、裏面電極 207 が形成されている。ここで、利得領域 R1 の長さは、利得領域 R1 のみでは反射損失が大きく発振しないように設定することができる。

【0051】

そして、波長選択性を持った利得領域 R11 で発光もしくは反射された光が、利得を有しない伝搬領域 R13 を通り、波長選択性を持った利得を有しない反射領域 R12 により反射され、利得を有しない伝搬領域 R13 を再度通り、波長選

択性を持った利得領域 R 1 1 に戻ることにより、帰還を生じさせつつ、レーザ発振を起こさせることができる。

【0052】

このため、利得領域 R 1 1、反射領域 R 1 2 および伝搬領域 R 1 3 をレーザ発振に係わらせることが可能となり、利得領域 R 1 1 および反射領域 R 1 2 での温度変化による発振波長の変動を、伝搬領域 R 1 3 での温度変化による位相の変動で補償することが可能となる。

このため、BCBなどの有機材料を用いることで、半導体レーザの発振波長の温度依存性を制御することが可能となり、新材料を用いることなく、簡単な構成および容易な加工方法を用いることにより、半導体レーザの発振波長の安定化を図ることが可能となる。

【0053】

なお、利得を有しない伝搬領域 R 1 3 の長さは、活性層 2 0 2 および半導体層 2 0 4 にそれぞれ設けられた回折格子の実効長と利得を有しない伝搬領域 R 1 3 の長さの和により決定される縦モード間隔が、回折格子のストップバンド幅よりも広くなるように設定することができる。これにより、1 個の縦モードのみを回折格子のストップバンド幅内に存在させることが可能となり、他の縦モードの利得を抑圧することを可能として、単一モード動作の安定性を高めることができる。

【0054】

なお、上述した実施形態では、波長選択性も利得も有しない伝搬領域 R 1 3 に、半導体とは逆の屈折率の温度依存性を持つ温度補償材料 2 0 3 を用いる方法について説明したが、伝搬領域 R 1 3 の材料を換えることで、任意の温度依存性を持つ半導体レーザを作製することが可能である。また、利得を有しない伝搬領域 R 1 3 は、発光する必要がないため、必ずしも良好な結晶性を有する必要はない。このため、有機材料やその他の半導体以外の材料を用いることができ、材料の選択性を広げることができる。また、例えば、回折格子部分の半導体よりも大きな屈折率の温度依存性を持つ材料を用いて、利得を有しない伝搬領域を構成するようにしてもよく、これにより、温度依存性の大きな半導体レーザを形成するこ

とができ、温度センサなどとして用いることができる。また、半導体のように温度上昇により屈折率が上昇する材料であっても、回折格子部分の半導体よりも小さな屈折率の温度依存性を持つ材料とすることにより、発振波長の温度依存性を低減することができる。

【0055】

また、図5の活性層202の構造に関しては、特に制約を設けるものではなく、通常用いられるすべての構造の活性層について本発明を適用することにより、半導体レーザの発振波長の温度依存性を制御することが可能となる。すなわち、活性層202に関しては、InGaAsP、GaAs、AlGaAs、InGaAs、GaInNAsなど任意の材質について適用が可能であり、活性層202の構造に関しても、バルク、MQW（多重量子井戸）、量子細線、量子ドットを問わず、また活性層領域の導波路構造に関しても、pn埋め込み、リッジ構造、半絶縁埋め込み構造、ハイメサ構造等を用いるようにしてもよい。半導体基板201に関しても、n型基板に限定されるものではなく、p型基板、半絶縁型基板等を用いるようにしてもよい。

【0056】

また、周期的摂動は活性層202上に直に形成しなくとも、活性層を導波する光の電界が零でない有限な値を有する領域に形成されていれば、同様な効果が期待できる。例えば、通常の半導体レーザで用いられている分離閉じ込め構造（SCH構造）のSCH層上に形成されていても良く、また、活性層と接していない領域にクラッド層よりも屈折率が高い層を積層し、そこに周期的摂動を形成してもよい。

【0057】

さらに、利得を有しない伝搬領域の上下もしくは左右の少なくともどちらか一方が光閉じ込め構造を有する導波路構造とすることにより、伝搬損失を低減することができ、半導体レーザの特性を向上させることが可能となる。

また、本発明の構造を基板の厚さ方向に形成し、面発光レーザ型としても同様な効果が期待できる。さらに、利得領域R11、伝搬領域R13および反射領域R12が光軸に沿って並んでいれば、エッチングなどにより作製した反射鏡を介

して、利得領域R 1 1、伝搬領域R 1 3および反射領域R 1 2を配置してもよく、導波路途中で層方向もしくは横方向に光軸が曲げられるようにしてもよい。

【0058】

図6は、本発明の第3実施形態に係る半導体レーザの構成を光導波方向に沿って示す断面図である。なお、この第3実施形態は、波長選択性を持った利得領域R 2 1に利得を有しない伝搬領域R 2 2を結合することにより、発振波長の温度依存性を制御するようにしたものである。

図6において、半導体基板301上には、波長選択性を持った利得領域R 2 1および利得を有しない伝搬領域R 2 2が設けられている。ここで、利得領域R 2 1には、半導体基板301上に形成され、波長選択性を持った利得を有する活性層302が設けられている。そして、活性層302には、複素屈折率の周期的な摂動、すなわち回折格子が形成され、活性層302は、分布反射構造となっている。また、活性層302上には、クラッド層310を介して電極305が形成されている。なお、半導体基板301およびクラッド層310としては、例えば、InP、活性層302としては、例えば、発光波長 $1.55\mu\text{m}$ のGaInAsPを用いることができる。

【0059】

さらに、伝搬領域R 2 2には、半導体基板301上の活性層302およびクラッド層310の一部を除去することで形成された除去領域312が設けられ、除去領域312には温度補償材料303が充填されている。

ここで、温度補償材料303としては、例えば、半導体とは逆の屈折率の温度依存性を持つ有機材料を用いることができ、このような有機材料として、例えば、BCBを挙げることができる。また、温度補償材料303として、有機材料の多層膜を用いることで導波損失を低減することができる。

【0060】

なお、利得を有しない伝搬領域R 2 2を半導体基板301上に形成する場合、反応性イオンエッチングなどの異方性エッチングを用いて利得領域R 2 1の端部に所望の幅の溝を形成し、スパインコーティングなどの方法により有機材料を溝部に充填することができる。

また、共振器の利得領域R 2 1側の端面には、活性層3 0 2が形成された半導体基板3 0 1のへき開面に対して、反射防止膜3 0 8が形成されている。また、共振器の伝搬領域R 2 2側の端面には、高反射膜3 1 1が形成されている。さらに、半導体基板3 0 1の裏面には、裏面電極3 0 7が形成されている。ここで、利得領域R 2 1の長さは、利得領域R 2 1のみでは反射損失が大きく発振しないように設定することができる。

【0061】

そして、波長選択性を持った利得領域R 2 1で発光もしくは反射された光が、利得を有しない伝搬領域R 2 2を通り、高反射膜3 1 1により反射され、利得を有しない伝搬領域R 2 2を再度通り、波長選択性を持った利得領域R 2 1に戻るにより、帰還を生じさせつつ、レーザ発振を起こさせることができる。

このため、利得領域R 2 1および伝搬領域R 2 2をレーザ発振に係わらせることが可能となり、利得領域R 2 1での温度変化による発振波長の変動を、伝搬領域R 2 2での温度変化による位相の変動で補償することが可能となる。

【0062】

このため、BCBなどの有機材料を用いることで、半導体レーザの発振波長の温度依存性を制御することが可能となり、新材料を用いることなく、簡単な構成および容易な加工方法を用いることにより、半導体レーザの発振波長の安定化を図ることが可能となる。

なお、利得を有しない伝搬領域R 2 2の長さは、活性層2 0 2に設けられた回折格子の実効長と利得を有しない伝搬領域R 2 2の長さの和により決定される縦モード間隔が、回折格子のストップバンド幅よりも広くなるように設定することができる。これにより、1個の縦モードのみを回折格子のストップバンド幅内に存在させることが可能となり、他の縦モードの利得を抑圧することを可能として、単一モード動作の安定性を高めることができる。

【0063】

なお、上述した実施形態では、波長選択性も利得も有しない伝搬領域R 2 2に、半導体とは逆の屈折率の温度依存性を持つ温度補償材料3 0 3を用いる方法について説明したが、伝搬領域R 2 2の材料を換えることで、任意の温度依存性を

持つ半導体レーザを作製することが可能である。また、利得を有しない伝搬領域 R22 は、発光する必要がないため、必ずしも良好な結晶性を有する必要はない。このため、有機材料やその他の半導体以外の材料を用いることができ、材料の選択性を広げることができる。また、例えば、回折格子部分の半導体よりも大きな屈折率の温度依存性を持つ材料を用いて、利得を有しない伝搬領域を構成するようにしてもよく、これにより、温度依存性の大きな半導体レーザを形成することができ、温度センサなどとして用いることができる。また、半導体のように温度上昇により屈折率が上昇する材料であっても、回折格子部分の半導体よりも小さな屈折率の温度依存性を持つ材料とすることにより、発振波長の温度依存性を低減することができる。

【0064】

また、図6の活性層302の構造に関しては、特に制約を設けるものではなく、通常用いられるすべての構造の活性層について本発明を適用することにより、半導体レーザの発振波長の温度依存性を制御することが可能となる。すなわち、活性層302に関しては、InGaAsP、GaAs、AlGaAs、InGaAs、GaInNAsなど任意の材質について適用が可能であり、活性層302の構造に関しても、バルク、MQW（多重量子井戸）、量子細線、量子ドットを問わず、また活性層領域の導波路構造に関しても、pn埋め込み、リッジ構造、半絶縁埋め込み構造、ハイメサ構造等を用いるようにしてもよい。半導体基板301に関しても、n型基板に限定されるものではなく、p型基板、半絶縁型基板等を用いるようにしてもよい。

【0065】

また、周期的摂動は活性層302上に直に形成しなくとも、活性層を導波する光の電界が零でない有限な値を有する領域に形成されていれば、同様な効果が期待できる。例えば、通常の半導体レーザで用いられている分離閉じ込め構造（SCH構造）のSCH層上に形成されていても良く、また、活性層と接していない領域にクラッド層よりも屈折率が高い層を積層し、そこに周期的摂動を形成してもよい。

【0066】

さらに、利得を有しない伝搬領域の上下もしくは左右の少なくともどちらか一方が光閉じ込め構造を有する導波路構造とすることにより、伝搬損失を低減することができ、半導体レーザの特性を向上させることが可能となる。

また、本発明の構造を基板の厚さ方向に形成し、面発光レーザ型構造としても同様な効果が期待できる。さらに、利得領域 R 2 1 および伝搬領域 R 2 2 が光軸に沿って並んでいれば、エッチングなどにより作製した反射鏡を介して、利得領域 R 2 1 および伝搬領域 R 2 2 を配置してもよく、導波路途中で層方向もしくは横方向に光軸が曲げられるようにしてもよい。

【0067】

図 7 は、本発明の第 4 実施形態に係る半導体レーザの構成を光導波方向に沿って示す断面図である。なお、この第 4 実施形態は、面発光型レーザ上に利得を有しない伝搬領域 R 3 2 を積層することにより、発振波長の温度依存性を制御するようにしたものである。

【0068】

図 7 において、半導体基板 4 0 1 上には、波長選択性を持った利得領域 R 3 1 が積層されている。また、利得領域 R 3 1 上には、利得を有しない伝搬領域 R 3 2 が積層され、伝搬領域 R 3 2 には、温度補償材料 4 0 4 が設けられている。ここで、利得領域 R 3 1 には、半導体基板 4 0 1 上に積層された分布ブラッグ反射層 4 0 2 および分布ブラッグ反射層 4 0 2 上に積層され、波長選択性を有する活性領域 4 0 3 が設けられている。なお、分布ブラッグ反射層 4 0 2 は、組成の異なる半導体層 4 0 9 a、4 0 9 b が交互に積層された構造を有し、活性領域 4 0 3 は、活性層 4 0 8 a およびクラッド層 4 0 8 b が交互に積層された構造を有することができる。そして、活性領域 4 0 3 上には、光を出射させる開口部 4 0 6 が設けられた電極 4 0 5 が形成されている。なお、利得領域 R 3 1 は、その全てが利得を持っていないくとも良く、利得領域 R 3 1 全体として利得が得られれば良い。

【0069】

ここで、半導体基板 4 0 1 としては、例えば、InP、活性層 4 0 8 a およびクラッド層 4 0 8 b としては、例えば、GaInAs/InAlAs、半導体層

409a、409bとしては、例えば、InAlGaAs／InAlAsを用いることができる。

また、温度補償材料404としては、例えば、半導体とは逆の屈折率の温度依存性を持つ有機材料を用いることができ、このような有機材料として、例えば、BCBを挙げることができる。また、温度補償材料404として、有機材料の多層膜を用いることで導波損失を低減することができる。また、利得を有しない伝搬領域R32は、利得領域R31上に有機材料などを塗布または堆積することにより形成できる。

【0070】

また、温度補償材料404上には、高反射膜411が形成され、半導体基板401の裏面には、裏面電極407が形成されている。ここで、活性領域403の活性層408aおよびクラッド層408bの各層数は、そのみでは反射損失が大きく発振しないように設定することができる。

【0071】

そして、波長選択性を持った利得領域R31で発光もしくは反射された光が、利得を有しない伝搬領域R32を通り、高反射膜411により反射され、利得を有しない伝搬領域R32を再度通り、波長選択性を持った利得領域R31に戻るにより、帰還を生じさせつつ、レーザ発振を起こさせることができる。

このため、利得領域R31および伝搬領域R32をレーザ発振に係わらせることが可能となり、利得領域R31での温度変化による発振波長の変動を、伝搬領域R32での温度変化による位相の変動で補償することが可能となる。

【0072】

このため、BCBなどの有機材料を用いることで、半導体レーザの発振波長の温度依存性を制御することが可能となり、新材料を用いることなく、簡単な構成および容易な加工方法を用いることにより、半導体レーザの発振波長の安定化を図ることが可能となる。

なお、利得を有しない伝搬領域R32の厚さは、利得領域R31の回折格子の実効長と利得を有しない伝搬領域R32の長さの和により決定される縦モード間隔が、回折格子のストップバンド幅よりも広くなるように設定することができる。

。これにより、1個の縦モードのみを回折格子のストップバンド幅内に存在させることが可能となり、他の縦モードの利得を抑圧することを可能として、単一モード動作の安定性を高めることができる。

【0073】

なお、上述した実施形態では、波長選択性も利得も有しない伝搬領域R32に、半導体とは逆の屈折率の温度依存性を持つ温度補償材料404を用いる方法について説明したが、伝搬領域R32の材料を換えることで、任意の温度依存性を持つ半導体レーザを作製することが可能である。また、利得を有しない伝搬領域R32は、発光する必要がないため、必ずしも良好な結晶性を有する必要はない。このため、有機材料やその他の半導体以外の材料を用いることができ、材料の選択性を広げることができる。また、例えば、回折格子部分の半導体よりも大きな屈折率の温度依存性を持つ材料を用いて、利得を有しない伝搬領域を構成するようにしてもよく、これにより、温度依存性の大きな半導体レーザを形成することができ、温度センサなどとして用いることができる。また、半導体のように温度上昇により屈折率が上昇する材料であっても、回折格子部分の半導体よりも小さな屈折率の温度依存性を持つ材料とすることにより、発振波長の温度依存性を低減することができる。

【0074】

また、図7の活性領域403の構造に関しては、特に制約を設けるものではなく、通常用いられるすべての構造の活性領域403について本発明を適用することにより、半導体レーザの発振波長の温度依存性を制御することが可能となる。すなわち、活性領域403に関しては、InGaAsP、GaAs、AlGaAs、InGaAs、GaInNAsなど任意の材質について適用が可能であり、活性領域403の構造に関しても、周期的に積層して回折格子を形成可能であれば、バルク、MQW（多重量子井戸）、量子細線、量子ドットを問わず、また活性領域の導波路構造に関しても、pn埋め込み、半絶縁埋め込み構造、酸化狭窄構造等を用いるようにしてもよい。半導体基板401に関しても、n型基板に限定されるのではなく、p型基板、半絶縁型基板等を用いるようにしてもよい。

【0075】

さらに、利得を有しない伝搬領域の上下もしくは左右の少なくともどちらか一方が光閉じ込め構造を有する導波路構造とすることにより、伝搬損失を低減することができ、半導体レーザの特性を向上させることが可能となる。

図8は、本発明の第5実施形態に係る半導体レーザの構成を光導波方向に沿って示す断面図である。なお、この第5実施形態は、光路変換構造を介して波長選択性を持った利得領域R41と利得を有しない伝搬領域R42とを結合することにより、発振波長の温度依存性を制御するようにしたものである。

【0076】

図8において、半導体基板501上には、波長選択性を持った利得領域R41、反射鏡512および利得を有しない伝搬領域R42が設けられ、利得領域R41と伝搬領域R42は反射鏡512を介して光学的に結合されている。ここで、利得領域R41には、半導体基板501上に形成され、波長選択性を持った利得を有する活性層502が設けられている。そして、活性層502には、複素屈折率の周期的な摂動、すなわち回折格子が形成され、活性層502は、分布反射構造となっている。また、活性層502上には、クラッド層510を介して電極505が形成されている。なお、半導体基板501およびクラッド層510としては、例えば、InP、活性層502としては、例えば、発光波長 $1.55\mu\text{m}$ のGaInAsPを用いることができる。また、半導体基板501上には、利得領域R41の一端に配置されるようにして、反射鏡512が設けられている。ここで、反射鏡512は、利得領域R41の端部のクラッド層510をエッチングし、垂直方向に90度だけ傾斜された傾斜面をクラッド層510に形成することにより作製することができる。

【0077】

また、伝搬領域R42には温度補償材料503が設けられ、温度補償材料503は、反射鏡512と向き合うようにして、クラッド層510上に配置されている。なお、利得を有しない伝搬領域R42は、利得領域R41から出射された光が反射鏡512で反射されて温度補償材料503に至るまでの光路と、温度補償材料503とから構成することができる。

【0078】

ここで、温度補償材料 503 としては、例えば、半導体とは逆の屈折率の温度依存性を持つ有機材料を用いることができ、このような有機材料として、例えば、BCB を挙げることができる。また、温度補償材料 503 として、有機材料の多層膜を用いることで導波損失を低減することができる。

なお、利得を有しない伝搬領域 R42 をクラッド層 510 上に形成する場合、有機材料をスピコートリングなどの方法により塗布または堆積することで作製できる。

【0079】

また、温度補償材料 503 上には、高反射膜 511 が形成され、共振器の利得領域 R41 側の端面には、活性層 502 が形成された半導体基板 501 のへき開面に対して、反射防止膜 508 が形成されている。さらに、半導体基板 501 の裏面には、裏面電極 507 が形成されている。ここで、利得領域 R41 の長さは、利得領域 R41 のみでは反射損失が大きく発振しないように設定することができる。

【0080】

そして、波長選択性を持った利得領域 R41 で発光もしくは反射された光が、反射鏡 512 を介して光軸が上方向に折り曲げられ、利得を有しない伝搬領域 R42 を通り、高反射膜 511 により反射される。そして、高反射膜 511 により反射された光は、利得を有しない伝搬領域 R42 を再度通り、反射鏡 512 で水平方向に光軸が曲げられ、波長選択性を持った利得領域 R41 に戻ることににより、帰還を生じさせつつ、レーザ発振を起こさせることができる。

【0081】

このため、利得領域 R41 および伝搬領域 R42 をレーザ発振に係わらせることが可能となり、利得領域 R41 での温度変化による発振波長の変動を、伝搬領域 R42 での温度変化による位相の変動で補償することが可能となる。

このため、BCB などの有機材料を用いることで、半導体レーザの発振波長の温度依存性を制御することが可能となり、新材料を用いることなく、簡単な構成および容易な加工方法を用いることにより、半導体レーザの発振波長の安定化を図ることが可能となる。

【0082】

なお、利得を有しない伝搬領域 R 4 2 の長さは、活性層 5 0 2 に設けられた回折格子の実効長と利得を有しない伝搬領域 R 4 2 の長さの和により決定される縦モード間隔が、回折格子のストップバンド幅よりも広くなるように設定することができる。これにより、1 個の縦モードのみを回折格子のストップバンド幅内に存在させることが可能となり、他の縦モードの利得を抑圧することを可能として、単一モード動作の安定性を高めることができる。

【0083】

なお、上述した実施形態では、光路変換構造として反射鏡を用いたが、例えば、回折格子などにより光路変換を行っても同様の効果が期待できる。また、上述した実施形態では、水平と上下の光軸の変換を行うように反射鏡を形成したが、例えば、同一水平面内において反射させて光軸を換えても良く、反射位置が一つである必要もない。また、波長選択性も利得も有しない伝搬領域 R 4 2 に、半導体とは逆の屈折率の温度依存性を持つ温度補償材料 5 0 3 を用いる方法について説明したが、伝搬領域 R 4 2 の材料を換えることで、任意の温度依存性を持つ半導体レーザを作製することが可能である。また、利得を有しない伝搬領域 R 4 2 は、発光する必要がないため、必ずしも良好な結晶性を有する必要はない。このため、有機材料やその他の半導体以外の材料を用いることができ、材料の選択性を広げることができる。また、例えば、回折格子部分の半導体よりも大きな屈折率の温度依存性を持つ材料を用いて、利得を有しない伝搬領域を構成するようにしてもよく、これにより、温度依存性の大きな半導体レーザを形成することができ、温度センサなどとして用いることができる。また、半導体のように温度上昇により屈折率が上昇する材料であっても、回折格子部分の半導体よりも小さな屈折率の温度依存性を持つ材料とすることにより、発振波長の温度依存性を低減することができる。

【0084】

また、図 8 の活性層 5 0 2 の構造に関しては、特に制約を設けるものではなく、通常用いられるすべての構造の活性層について本発明を適用することにより、半導体レーザの発振波長の温度依存性を制御することが可能となる。すなわち、

活性層 502 に関しては、InGaAsP、GaAs、AlGaAs、InGaAs、GaInNAs など任意の材質について適用が可能であり、活性層 502 の構造に関しても、バルク、MQW（多重量子井戸）、量子細線、量子ドットを問わず、また活性層領域の導波路構造に関しても、pn 埋め込み、リッジ構造、半絶縁埋め込み構造、ハイメサ構造等を用いるようにしてもよい。半導体基板 501 に関しても、n 型基板に限定されるものではなく、p 型基板、半絶縁型基板等を用いるようにしてもよい。

【0085】

また、周期的摂動は活性層 502 上に直に形成しなくとも、活性層を導波する光の電界が零でない有限な値を有する領域に形成されていれば、同様な効果が期待できる。例えば、通常の半導体レーザで用いられている分離閉じ込め構造（SCH 構造）の SCH 層上に形成されていても良く、また、活性層と接していない領域にクラッド層よりも屈折率が高い層を積層し、そこに周期的摂動を形成してもよい。

【0086】

さらに、利得を有しない伝搬領域の上下もしくは左右の少なくともどちらか一方が光閉じ込め構造を有する導波路構造とすることにより、伝搬損失を低減することができ、半導体レーザの特性を向上させることが可能となる。

図 9 は、本発明の第 6 実施形態に係る半導体レーザの構成を光導波方向に垂直に切断して示す断面図である。なお、この第 6 実施形態は、光の伝播領域と構造が異なる利得領域を設けることにより、発振波長の温度依存性を制御するようにしたものである。

【0087】

図 9（a）において、半導体基板 601 上には、バッファ層 602、光閉じ込め層 603、コア層 604、光閉じ込め層 605 およびキャップ層 606 が順次積層され、これら各層は埋め込み層 607 で埋め込まれている。

また、図 9（b）において、半導体基板 611 上には、バッファ層 612、光閉じ込め層 613、コア層 614、光閉じ込め層 615 およびキャップ層 616 が順次積層され、これら各層は埋め込み層 617 で埋め込まれている。

【0088】

また、図9(c)において、半導体基板621上には、バッファ層622、光閉じ込め層623、コア層624、光閉じ込め層625およびキャップ層626が順次積層され、これら各層は埋め込み層627で埋め込まれている。

また、図9(d)において、半導体基板631上には、バッファ層632、光閉じ込め層633、コア層634およびキャップ層636が順次積層され、これら各層は埋め込み層637で埋め込まれている。

【0089】

また、図9(e)において、半導体基板641上には、バッファ層642、光閉じ込め層643、コア層644、光閉じ込め層645およびキャップ層646が順次積層され、これら各層は、BCBなどの有機材料647で埋め込まれている。

ここで、図9(b)のコア層614は、図9(a)のコア層604よりも厚さが薄くなっている。このため、水平方向の光フィールド分布F1、F11を変化させることなく、垂直方向の光フィールド分布F2、F12を変化させることが可能となり、実効的屈折率およびその温度依存性への各層の寄与分を異ならせることができる。この結果、図9(a)の構成と図9(b)の構成とで、実効的屈折率およびその温度依存性を変化させることが可能となり、図9(a)の構成と図9(b)の構成とを組み合わせることにより、半導体レーザの発振波長の温度依存性を制御することが可能となる。

【0090】

また、図9(c)のコア層624および光閉じ込め層623、625は、図9(b)のコア層614および光閉じ込め層613、615よりも幅が狭くなっている。このため、垂直方向の光フィールド分布F12、F22を変化させることなく、水平方向の光フィールド分布F11、F21を変化させることが可能となり、実効的屈折率およびその温度依存性への各層の寄与分を異ならせることができる。この結果、図9(b)の構成と図9(c)の構成とで、実効的屈折率およびその温度依存性を変化させることが可能となり、図9(b)の構成と図9(c)の構成とを組み合わせることにより、半導体レーザの発振波長の温度依存性を

制御することが可能となる。

【0091】

また、図9 (d) の構成では、図9 (b) の構成に比べて、コア層633の上層の光閉じ込め層635が省略されている。このため、水平方向の光フィールド分布F11、F31を変化させることなく、垂直方向の光フィールド分布F12、F32を変化させることが可能となり、実効的屈折率およびその温度依存性への各層の寄与分を異ならせることができる。この結果、図9 (b) の構成と図9 (d) の構成とで、実効的屈折率およびその温度依存性を変化させることが可能となり、図9 (b) の構成と図9 (d) の構成とを組み合わせることにより、半導体レーザの発振波長の温度依存性を制御することが可能となる。

【0092】

また、図9 (e) の構成では、図9 (c) の埋め込み層627を設ける代わりに、有機材料647が用いられている。このため、垂直方向の光フィールド分布F22、F42を変化させることなく、水平方向の光フィールド分布F21、F41を変化させることが可能となり、実効的屈折率およびその温度依存性への構造の寄与分を異ならせることができる。この結果、図9 (c) の構成と図9 (e) の構成とで、実効的屈折率およびその温度依存性を変化させることが可能となり、図9 (c) の構成と図9 (e) の構成とを組み合わせることにより、半導体レーザの発振波長の温度依存性を制御することが可能となる。

【0093】

このように、図9 (a) ~図9 (e) の構成のいずれかを組み合わせることにより、光の導波方向に沿って光のフィールド分布を変化させることが可能となり、同一の材料を用いて半導体レーザを構成した場合においても、半導体レーザの発振波長の温度依存性を制御することが可能となる。

なお、半導体基板601、611、621、631、641、バッファ層602、612、622、632、642、キャップ層606、616、626、636、646および埋め込み層607、617、627、637としては、例えば、InP、コア層604、614、624、634、644としては、例えば、発光波長1.3 μm のGaInAsP、光閉じ込め層603、613、623

、633、643、605、615、625、645としては、例えば、発光波長 $1.1\mu\text{m}$ のGaInAsPをそれぞれ用いることができる。

【0094】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、利得領域に利得媒質として信頼性のある材料を用い、比較的簡単な構成および容易な加工により半導体レーザの発振波長の温度依存性を所望の値に制御できる。特に、利得を持たない伝搬領域の材料として、半導体とは逆の屈折率の温度依存性を持つ材料を用いることにより、発振波長の温度依存性を無くすることが可能であり、発振波長温度無依存半導体レーザを実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1実施形態に係る半導体レーザの構成を光導波方向に沿って示す断面図である。

【図2】 本発明の一実施形態に係る半導体レーザの反射スペクトルおよび反射波の位相特性を示す図である。

【図3】 本発明の一実施形態に係る半導体レーザの発振波長の温度依存性の補償原理を説明する図である。

【図4】 本発明の一実施形態に係る半導体レーザの屈折率の温度係数差と発振波長温度依存性を説明する図である。

【図5】 本発明の第2実施形態に係る半導体レーザの構成を光導波方向に沿って示す断面図である。

【図6】 本発明の第3実施形態に係る半導体レーザの構成を光導波方向に沿って示す断面図である。

【図7】 本発明の第4実施形態に係る半導体レーザの構成を光導波方向に沿って示す断面図である。

【図8】 本発明の第5実施形態に係る半導体レーザの構成を光導波方向に沿って示す断面図である。

【図9】 本発明の第6実施形態に係る半導体レーザの構成方法を光導波方向に垂直に切断して示す断面図である。

【符号の説明】

- R 1 波長選択性を持った第 1 の利得領域
R 2 波長選択性を持った第 2 の利得領域
R 3、R 1 3、R 2 2、R 3 2、R 4 2 利得を有しない伝搬領域
R 1 1、R 2 1、R 3 1、R 4 1 波長選択性を持った利得領域
R 1 2 波長選択性を持った反射領域
1 0 1、2 0 1、3 0 1、4 0 1、5 0 1、6 0 1、6 1 1、6 2 1、6 3 1
、6 4 1 半導体基板
1 0 2 第 1 の利得を有する活性層
1 0 3、2 0 3、3 0 3、4 0 4、5 0 3 温度補償材料
1 0 4 第 2 の利得を有する活性層
1 0 5 第 1 の利得領域用電極
1 0 6 第 2 の利得領域用電極
1 0 7、2 0 7、3 0 7、4 0 7、5 0 7 裏面電極
1 0 8 第 1 の利得領域側反射防止膜
1 0 9 第 2 の利得領域側反射防止膜
1 1 0、2 1 0 クラッド層
1 1 1、2 1 1、3 1 2 除去領域
2 0 2、3 0 2、4 0 8 a、5 0 2 利得を有する活性層
2 0 4 利得を有しない半導体層
2 0 5、3 0 5、4 0 5、5 0 5 電極
2 0 8 利得領域側反射防止膜
2 0 9 反射領域側反射防止膜
3 0 8、5 1 1 反射防止膜
3 1 1、4 1 1、5 1 1 高反射膜
4 0 2 分布ブラッグ反射層
4 0 3 活性領域
4 0 6 開口部
4 0 8 b クラッド層

409a、409b 半導体層

512 反射鏡

602、612、622、632、642 バッファ層

603、613、623、633、643、605、615、625、635

、645 光閉じ込め層

604、614、624、634、644 コア層

606、616、626、636、646 キャップ層

607、617、627、637、647 埋め込み層

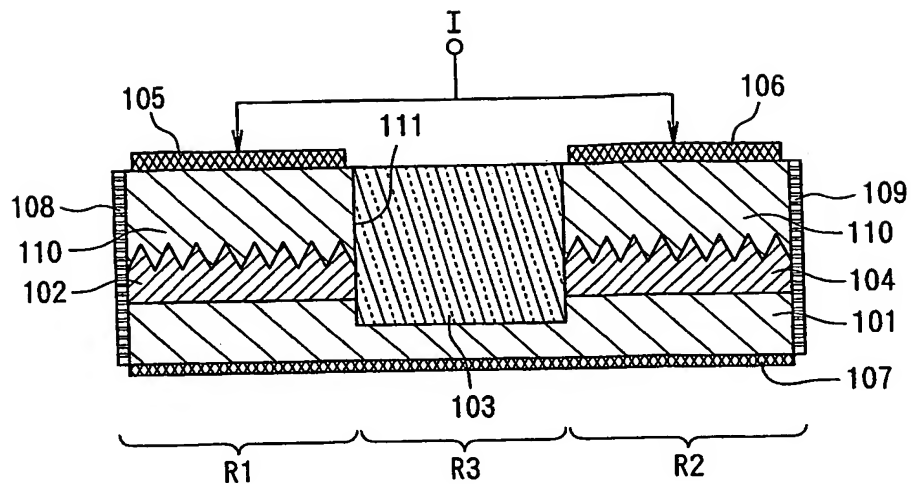
F1、F2、F11、F12、F21、F22、F31、F32、F41、F

42 光フィールド分布

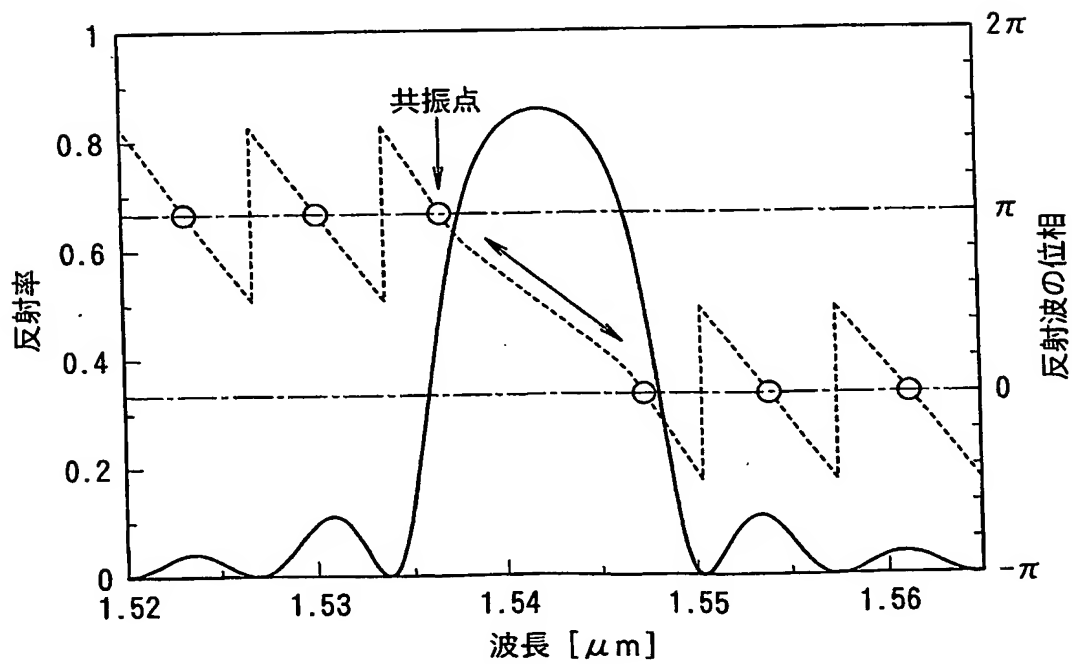
【書類名】

図面

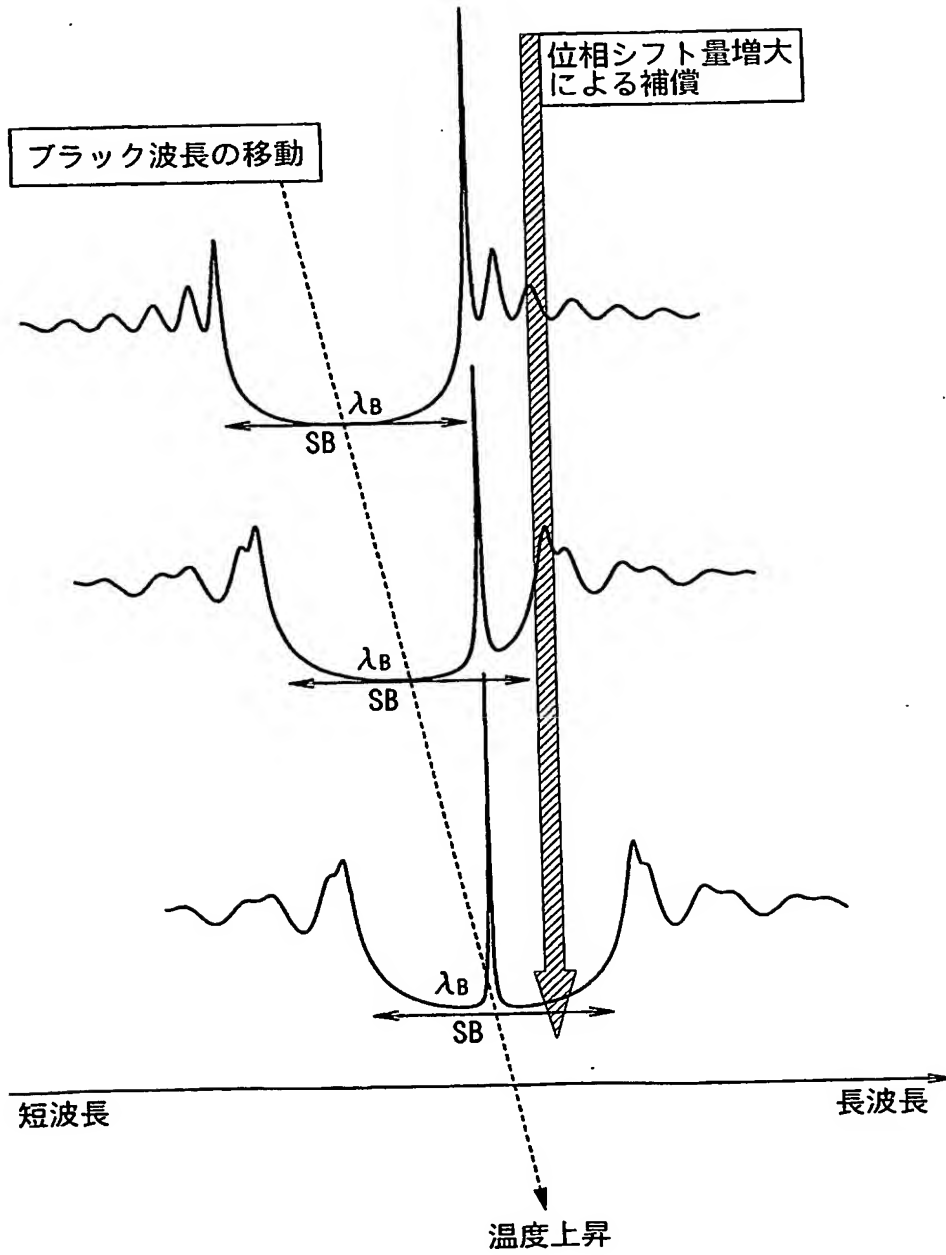
【図 1】



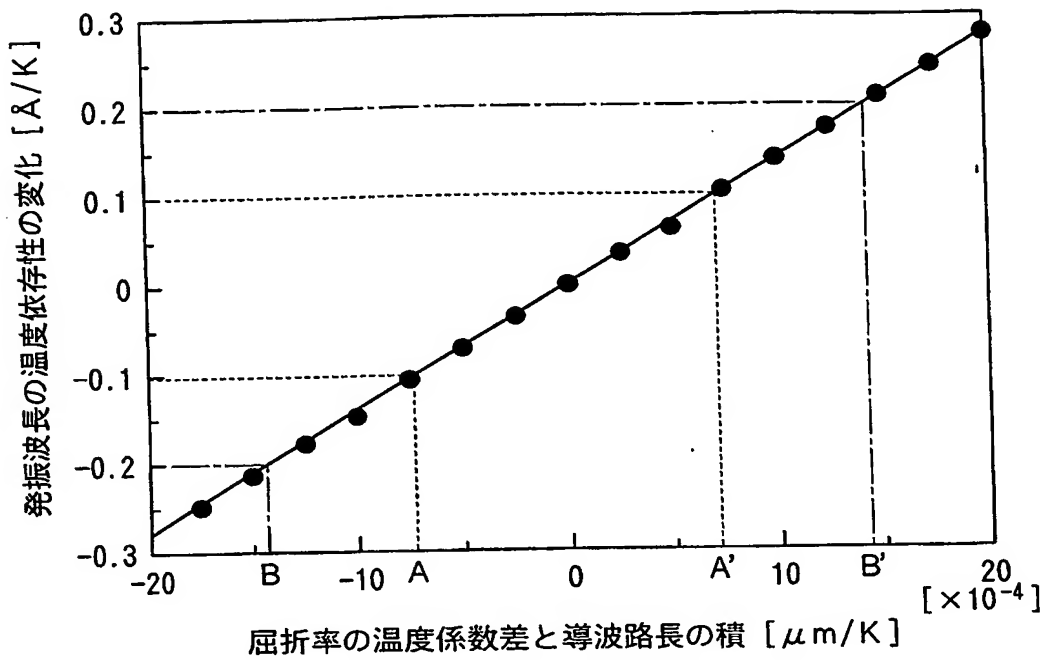
【図 2】



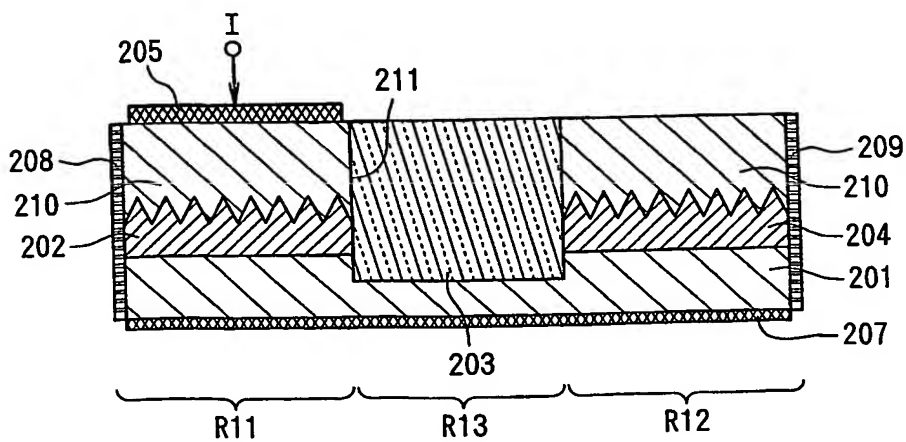
【図3】



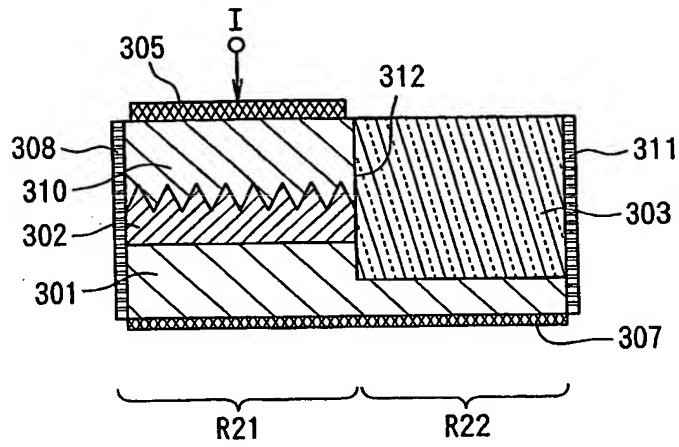
【図 4】



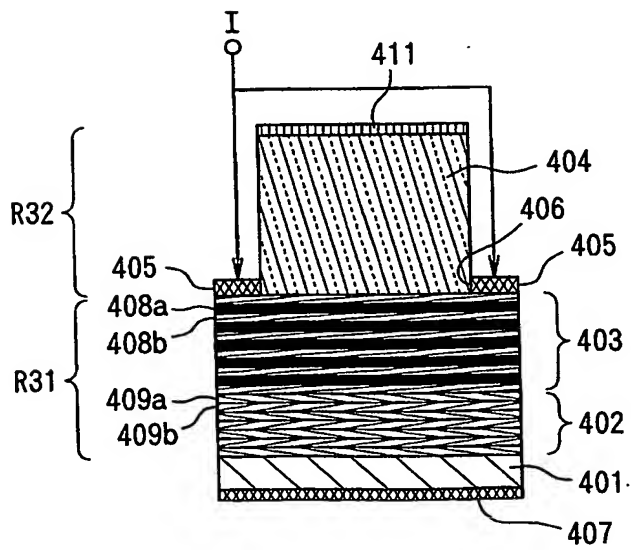
【図 5】



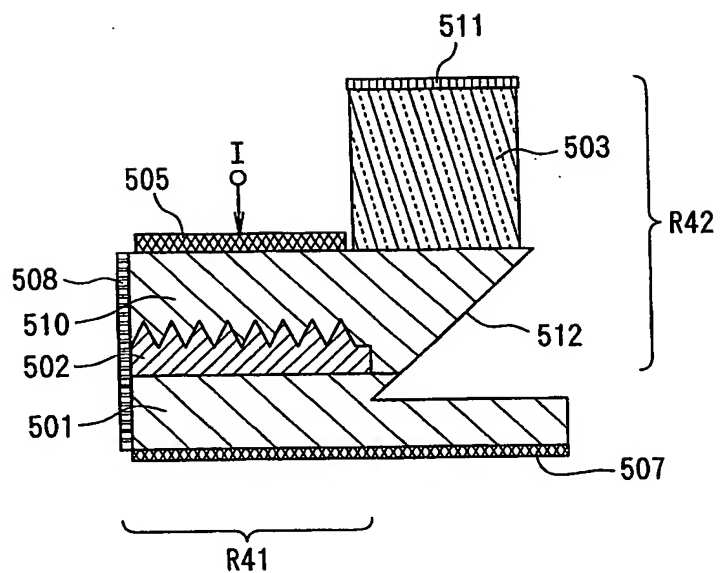
【図 6】



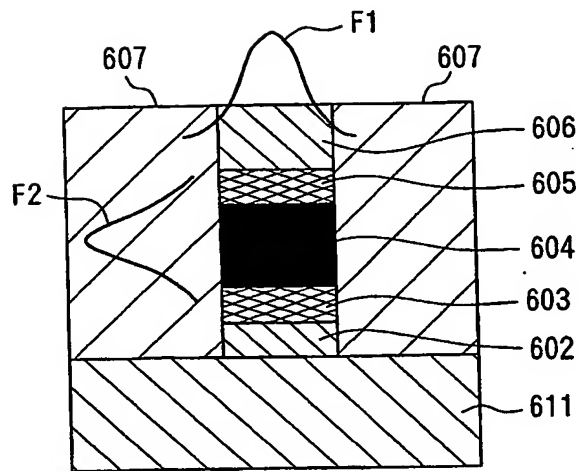
【図 7】



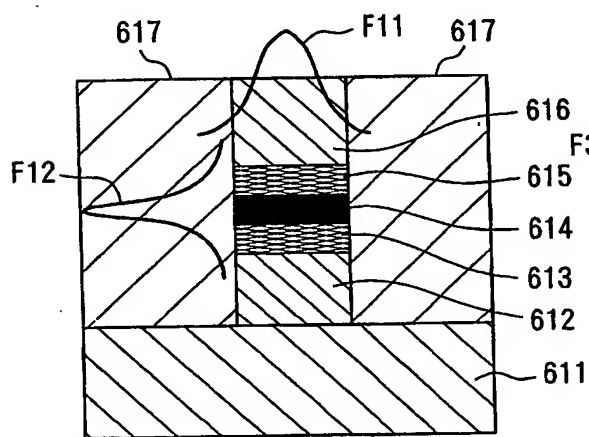
【図 8】



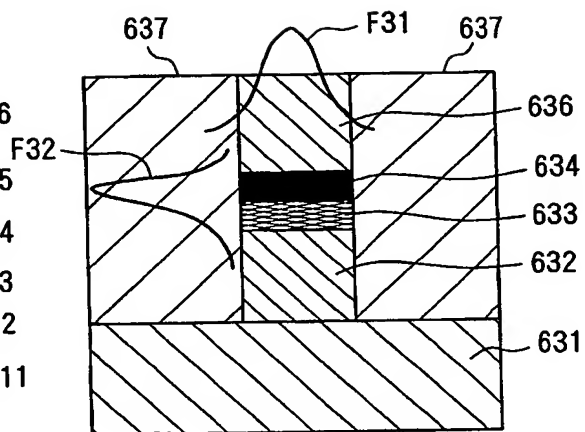
【図 9】



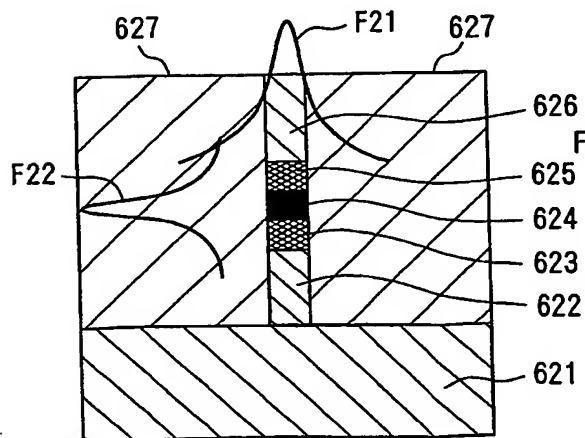
(a)



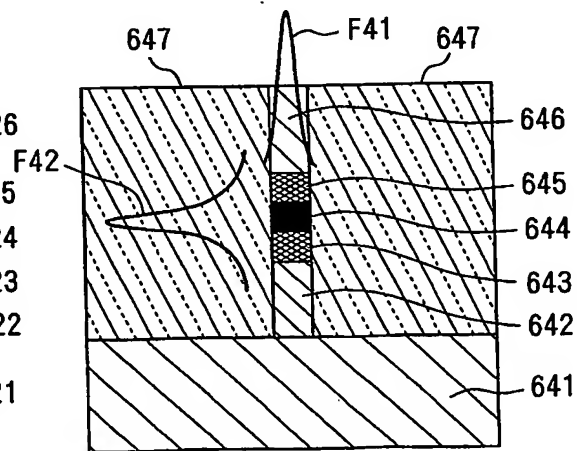
(b)



(d)



(c)



(e)

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 簡単な構成により半導体レーザの発振波長の温度依存性を制御する。

【解決手段】 波長選択性を持った第1の利得領域R1、利得を有しない伝搬領域R3および波長選択性を持った第2の利得領域R2を半導体基板101上に直列に配置し、半導体とは逆の屈折率の温度依存性を持つ有機材料を伝搬領域R3に充填する。

【選択図】 図1

特願 2 0 0 3 - 0 9 4 6 9 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 2 2 6]

1. 変更年月日

1 9 9 9 年 7 月 1 5 日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号

氏 名

日本電信電話株式会社